

**UNTERSUCHUNGEN ZUM KORRELATIVEN VERHALTEN
DER GEFÄSSEIGENFREQUENZ DER ARTERIA RADIALIS
UND DER PULSWELLENGESCHWINDIGKEIT DER AORTA**

von
Walter Flögel
aus
Laufen

1973 # 366

Aus der Medizinischen Poliklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. med. C. Korth

**UNTERSUCHUNGEN ZUM KORRELATIVEN VERHALTEN
DER GEFÄSSEIGENFREQUENZ DER ARTERIA RADIALIS
UND DER PULSWELLENGESCHWINDIGKEIT DER AORTA**

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt
von
Walter Flögel
aus
Laufen

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen
Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg

Aus dem Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. med. C. Korth

UNTERSUCHUNGEN ZUM KORRELATIVEN VERHALTEN
DER GEFÄßGEFÜHRUNG DER ARTERIA RADIALIS
UND DER FULWELLENSCHWINDIGKEIT DER AORTA

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg
vorgelegt von



Dekan: Prof. Dr. L. Demling

Referent: Priv.-Doz. Dr. E. Lang

Korreferent: Prof. Dr. C. Korth

Tag der mündlichen Prüfung: 14. August 1973

Meiner lieben Mutter
in Dankbarkeit gewidmet

Herrn Priv. Doz. Dr. Erich Lang sei an
dieser Stelle für die Überlassung des
Themas und die stete Bereitschaft, diese
Arbeit mit Rat und Tat zu unterstützen,
recht herzlich gedankt.

I n h a l t

I) Einleitung

1) Begriffsbestimmungen

- a) Erläuterung des Begriffs Arteriosklerose
- b) Erläuterung des Begriffs Elastizität
- c) Erläuterung des Begriffs Eigenfrequenz

2) Physikalische Grundlagen der Eigenfrequenzmessung der arteria radialis

3) Physikalische Grundlagen der Pulswellengeschwindigkeitsmessung nach O. FRANK

II) Methodik

1) Untersuchungsmodus und Geräte zur Eigenfrequenzbestimmung

- a) Geräte
- b) Untersuchungsmodus

2) Untersuchungsmodus und Geräte zur Pulswellengeschwindigkeitbestimmung

- a) Geräte
- b) Untersuchungsmodus

3) Die Untersuchten

III) Ergebnisse und Diskussion

- 1) Verhalten der Pulswellengeschwindigkeit bei den Untersuchten und Vergleich mit der Normalbevölkerung
- 2) Verhalten der Eigenfrequenz der arteria radialis bei den Untersuchten und Vergleich mit der Normalbevölkerung
- 3) Beziehungen zwischen der Eigenfrequenz der arteria radialis und der Pulswellengeschwindigkeit der Aorta bei den Untersuchten

IV) Zusammenfassung

V) Literatur

I) Einleitung

In jüngerer Zeit treten, wie aus Statistiken hervorgeht, arteriosklerotische Gefäßerkrankungen immer häufiger auf. So steht der auf dem Boden der Arteriosklerose entstehende Myokardinfarkt heute als Todesursache in der Statistik Deutschlands ganz oben an. Es liegt nahe, nach diagnostischen Methoden zu suchen, die den Sklerosierungsgrad von Arterien frühzeitig erkennen lassen und so eine gezielte Prophylaxe ermöglichen.

Bereits 1920 erarbeitete O. FRANK die theoretische Grundlage für ein Verfahren zur Bestimmung der Wandelastizität von Arterien, aber erst in jüngerer Zeit ermöglichte es der Fortschritt der Technik, das Verfahren, das auf der Messung der Pulswellengeschwindigkeit beruht, klinisch nutzbar zu machen. Bei einer zweiten Methode, die jetzt entwickelt wurde, wird von der Eigenfrequenz einer Arterie auf deren Elastizität geschlossen. Dieses Verfahren hat den Vorteil, daß es leichter an peripheren Gefäßen durchgeführt werden kann als die Messung der Pulswellengeschwindigkeit und somit in der Praxis weniger Zeit beansprucht. Ungenauigkeiten, wie sie sich aus der Messung des Pulsweges mittels Bandmaß oder Lineal zwangsläufig ergeben, entfallen ebenfalls. Außerdem läßt sich das Ergebnis einer Messung ohne Berechnungen direkt ablesen, was bei der Messung der Pulswellengeschwindigkeit nicht möglich ist. Wenn man die beiden zur Messung der Gefäßelastizität angegebenen Methoden vergleicht, so müßte sich eine enge Beziehung zwischen den Ergebnissen feststellen lassen, denn beide geben Aufschluß über das elastische Verhalten von Arterien.

Aufgabe dieser Arbeit ist es, Pulswellengeschwindigkeit und Eigenfrequenz von Arterien bezüglich der Existenz einer solchen Beziehung zu vergleichen und eine eventuell vorhandene Korrelation zu definieren.

1) Begriffsbestimmungen

a) Die Arteriosklerose

Die Arteriosklerose stellt nach HAMPERL (5) vorzugsweise eine Erkrankung des vorgerückten Alters dar. "Sie ist im allgemeinen erst jenseits des vierzigsten Lebensjahres deutlich entwickelt und bei Männern weit häufiger als bei Frauen. Deshalb hat man an eine Abnutzung des Gefäßsystems gedacht, die sich dort am meisten geltend macht, wo die stärkste funktionelle Inanspruchnahme stattfindet. Als faßbare Grundlage der Abnutzung wird die Verminderung der Elastizität der Arterienwand angesehen, die ihrerseits die Veränderung der Intima auslösen soll." Die Veränderungen der Intima, die sehr oft auch die inneren Schichten der Media betreffen, bestehen in Verfettung, Bindegewebswucherung, Nekrose und Verkalkung, also in einer "Verhärtung" oder Zunahme der Elastizität. Einer vorausgehenden Elastizitätsminderung (= vermehrte Dehnbarkeit) der Arterie folgt eine Elastizitätserhöhung (= verminderte Dehnbarkeit). Diese Änderung der elastischen Eigenschaften eines Gefäßes wird sowohl bei der Messung der Pulswellengeschwindigkeit als auch bei der Eigenfrequenz zur Diagnose des Gefäßzustandes ausgenutzt.

b) Die Arterienelastizität

Unter Elastizität versteht man die Fähigkeit, Formänderungsarbeit in umkehrbarer Weise zu speichern. Die Elastizität der Arterien, besonders der Aorta, bewirkt eine kontinuierliche Strömung des Blutes.

In Anlehnung an den sogenannten "Windkessel" früherer Feuerwehrrpumpen, der für eine kontinuierliche Strömung des Wassers sorgte, spricht man vom "Windkessel" der Aorta (16). Ein Maß für die Wandelastizität von Hohlkörpern, wie sie z. B. die Arterien darstellen, ist

der von O. FRANK angegebene Volumenelastizitätsmodul κ , der folgendermaßen definiert ist:

$$\kappa = \frac{\Delta P}{\Delta V} V \quad [\text{dyn/cm}^2]$$

Die Elastizität verhält sich umgekehrt proportional zur Dehnbarkeit.

c) Die Eigenfrequenz

Ein elastischer Körper schwingt nach einmaligem Anstoß mit einer bestimmten, für ihn charakteristischen Frequenz, der sogenannten Eigenfrequenz, um seine Gleichgewichtslage. Für die Eigenfrequenz gilt:

$$\alpha = 2\pi v \sqrt{\frac{E'}{M'}}$$

α = Kreisfrequenz, v = Eigenfrequenz, E' = Elastizitätsmodul, M' = Masse (wirksame Masse nach O. FRANK)
Je größer die Elastizität und je kleiner die Masse eines Körpers, desto größer ist seine Eigenfrequenz.

2) Physikalische Grundlagen der Eigenfrequenzmessung der arteria radialis

Die Methode der Eigenfrequenzmessung von Arterien basiert auf folgenden physikalischen Grundlagen (13): Jeder feste Körper besitzt eine genau definierte und charakteristische Eigenfrequenz, eine Eigenschaft, derer sich die Technik zur Bestimmung von Härtegrad, Spannung und Elastizität von Gegenständen schon seit geraumer Zeit bedient. Diese Eigenschaft ist abhängig von Größe, Form, der strukturellen und elementaren Beschaffenheit und dem gegenwärtigen mechanischen Zustand des Körpers, d. h. sie ist unter anderem und vor allem abhängig vom elastischen Verhalten des Materials. Nimmt man an, daß bei einer Anzahl von Versuchskörpern alle Größen, die zur Bestimmung der Eigenfrequenz nötig sind, gleiches Ausmaß haben, so verändert sich die Eigenfrequenz ν nur noch in Abhängigkeit von der Elastizitätskonstanten λ , d. h. die Eigenfrequenz ist eine Funktion von λ :

$$\nu = f(\lambda)$$

Bei konstanten Versuchsbedingungen steigt mit einer Erhöhung von λ auch die Eigenfrequenz, und zwar mit der jeweils spezifischen Konstanten K , sodaß gilt:

$$\nu = K \cdot \lambda$$

Infolge dieser Abhängigkeiten läßt sich durch die Messung der Eigenfrequenz eine Aussage über das elastische Verhalten von Gefäßen machen.

3) Physikalische Grundlagen der Pulswellengeschwindigkeitsmessung nach O. FRANK

O. FRANK hatte 1926 festgestellt, daß die Geschwindigkeit c , mit der sich die Pulswellen in den Arterien fortpflanzen, abhängig ist vom Volumenelastizitätsmodul und von der Massendichte des Blutes ρ , und zwar in folgender Weise (3):

$$c = \sqrt{\frac{\kappa}{\rho}}$$

c = Pulswellengeschwindigkeit, ρ = Massendichte des Blutes, κ = Volumenelastizitätsmodul

Die Pulswellengeschwindigkeit ist heute ohne Schwierigkeiten meßbar und wenn man die Massendichte des Blutes verschiedener Patienten als konstant ansieht, kann man direkt von der Pulswellengeschwindigkeit auf den Volumenelastizitätsmodul und damit auf die Elastizität des betreffenden Gefäßes schließen. Ein Anstieg des Volumenelastizitätsmoduls bedeutet einen Verlust an Dehnbarkeit und äußert sich in einer Erhöhung der Pulswellengeschwindigkeit.

II) Methodik

1) Untersuchungsmodus und Geräte zur Eigenfrequenzbestimmung

a) Geräte

Das uns zur Verfügung stehende Gerätesystem war eine von M. HUBMANN abgeänderte Version der ursprünglich von D. SCHILLING entwickelten Versuchsanordnung, die in Abbildung 1 schematisch dargestellt ist. Bei unseren Messungen zur Bestimmung der Eigenfrequenz von Arterien wurde ein Hi-Fi-Tieftonlautsprecher mit einem Frequenzbereich von 15-900 Hz benutzt. Das Gerät war von D. SCHILLING so modifiziert worden, daß die vom Lautsprecher abgegebenen Frequenzen mittels eines Kunststoffstabes als Impulsgeber auf eine Arterie übertragen werden konnten. Der Lautsprecher war so an einem Stativ befestigt, daß er leicht und exakt in allen Ebenen geschwenkt werden konnte. Zur Frequenzerzeugung diente ein Sinusgenerator der Firma PHILIPPS mit einem Schwingungsbereich von 1-10 000 Hz. Zwischen Sinusgenerator und Lautsprecher war der Verstärker eines GRUNDIG TK 320 Tonbandgerätes geschaltet. Als Frequenzrezeptor wurde ein modifiziertes Kristallmikrofon der Firma HELBIG benutzt, wie es zur Phonokardiographie verwendet wird. Dieses Mikrofon, das ebenfalls an einem Stativ befestigt war, übertrug die Schwingungen auf einen Sechskanalschreiber der Firma SIEMENS vom Typ Mingograf, der die gemessenen Frequenzen aufzeichnete. Die einzelnen Kanäle waren wie folgt belegt: Die Kanäle 1, 3 und 4 waren frei, Kanal 2 war mit der Eigenfrequenz, Kanal 5 mit dem Carotispuls und Kanal 6 mit dem Femoralispuls belegt.

Das gesamte geschlossene System, dessen Eigenfrequenz bei 500 Hz lag, sieht also folgendermaßen aus:

Erreger: Sinusgenerator und Tieftonlautsprecher

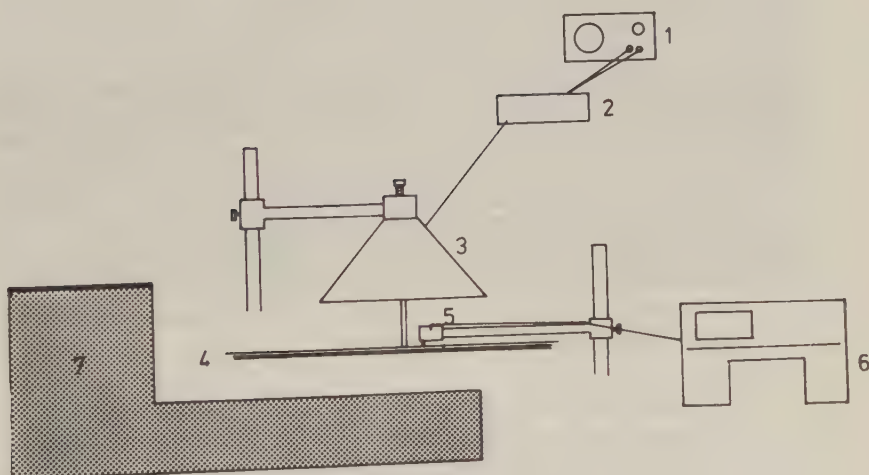
Kopplung: Haut und umgebendes Gewebe der Arterie

Resonator: Arterie

Rezeptor: Mikrofon

Aufzeichnung: Ekg - Aufzeichnungsgerät

Abbildung 1: Schematische Darstellung des zur Eigenfrequenzbestimmung verwendeten Gerätesystems

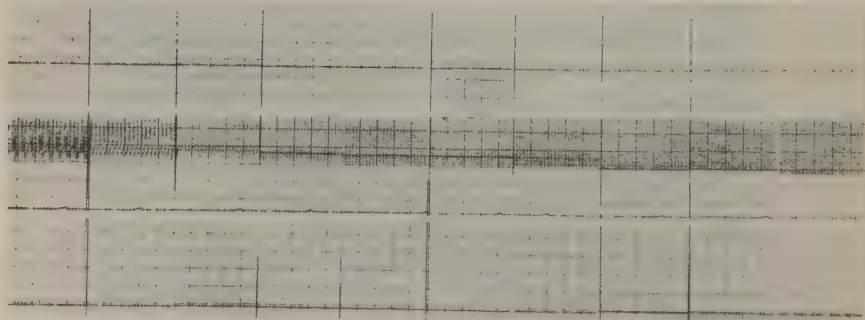


- 1) Frequenzgenerator
- 2) Verstärker
- 3) Lautsprecher
- 4) Arteria radialis

- 5) Kristallmikrophon
- 6) Registriergerät
- 7) Profilklotz zur
Ruhigstellung der Hand

Abbildung 2 zeigt eine Eichkurve des Systems, aus der hervorgeht, daß das Meßsystem in einem Frequenzbereich von 15-100 Hz eine weitgehende Amplitudenkonstanz aufweist. D. SCHILLING (13) fand die niedrigste Gefäßeigenfrequenz bei 18 Hz, die höchste bei 85 Hz, sodaß das Gros aller gefundenen Meßwerte im Bereich der Amplitudenkonstanz liegt.

Abbildung 2: Eichkurve des zur Eigenfrequenzbestimmung verwendeten Gerätesystems



b) Durchführungsmodus der Untersuchung

Es wurde für jeden Patienten ein Datenblatt angelegt, auf dem alle eventuellen Parameter der Eigenfrequenz, wie zum Beispiel Blutdruck, Gefäßerkran- kungen, Alter usw. eingetragen wurden (Abbildung 3). Die Eigenfrequenzmessung wurde ausschließlich an der arteria radialis in folgender Weise durchgeführt: Der Unterarm des flach liegenden Patienten wurde in einer vorgeformten Gipsschale fixiert. Nach Markie- rung eines proximal des Radiocarpalgelenkes gelege- nen Abschnitts der arteria radialis wurden der Kunst- stoffstab des Frequenzgebers und das Mikrofon auf das angezeichnete Gefäß in einem Abstand von 1 bis 2,5 cm von einander aufgesetzt. Dann wurde mittels des Sinus- generators eine Frequenz von anfänglich 15 Hz erzeugt und auf die Arterie übertragen. Die Frequenz wurde dann ständig um 5 Hz erhöht bis zu einem Maximalwert von 90 Hz. Jedes einzelne 5 Hz-Intervall wurde auf dem Meßblatt eingetragen. Lag die höchste Schwingungs- amplitude, die ja den Resonanzfall darstellt, inner- halb eines solchen 5 Hz-Intervalls, so wurde die Mes- sung wiederholt und die Frequenz kurz vor dem jetzt zu erwartenden Amplitudenmaximum kontinuierlich er- höht, sodaß eine genaue Differenzierung der exakten Eigenfrequenz möglich war. Durchschnittlich wurden die Messungen 4-5 mal pro Patient durchgeführt. Die Papiergeschwindigkeit betrug für alle Registrierungen 50 mm/sec.

Die Auswertung der so gewonnenen Kurven ist einfach: Es genügt, das aufgezeichnete Amplitudenband nach Amplituden abzusuchen, die die übrigen deutlich an Höhe überragen, denn im Resonanzfall wird die Arte- rie die größten Auslenkungen um ihre Ruhelage erfah- ren. Bei Amplitudenmaxima um 50 Hz ist darauf zu achten, ob nicht noch ein zweites Maximum vorhanden

ist. Wenn ja, so ist die Frequenz dieses zweiten Maximums als Eigenfrequenz anzusehen, denn im Bereich der Wechselstromfrequenz (50 Hz) traten manchmal eigenfrequenzähnliche Amplitudenmaxima auf. Ist das Maximum bei 50 Hz jedoch das einzige, so fallen entweder Eigenfrequenz und Wechselstromfrequenz zusammen oder die Wechselstromfrequenz trat, wie meist, auf der Kurve gar nicht in Erscheinung.

Eine unexakte Auflage des Mikrofons hat keine Verfälschung des Meßergebnisses zur Folge. Es wird lediglich die Dämpfung erhöht, d. h. alle Amplituden werden niedriger (13). Die Veränderung des Kurvenverlaufs durch Meßpunktverlegung gibt Abbildung 4 wieder. Gleichzeitig mit der Messung der Eigenfrequenz wurden auch die Pulscurven für die Pulswellengeschwindigkeitsbestimmung aufgezeichnet. Abbildung 5 zeigt einen Probanden während der Untersuchung.

Abbildung 3: Vorder- und Rückseite des Datenblattes

Untersuchungsbogen: Eigenfrequenzmessung von Gefässen

- 1 Name:
- 2 Geschlecht: männlich weiblich
- 3 Alter:
- 4 Grösse:
- 5 Gewicht:
- 6 AZ:
Warum zur Kur?
Bei Frauen: Zahl der Schwangerschaften:
- 7 EZ: schlank
normal
adipös
- 8 Blutdruck:
- 9 Puls:
- 10 Herz:
- 11 Raucher: ja: nein:
bei ja: Wieviel/Tag:
- 12 Sportler: ja: nein:
bei ja: Welche Sportart:
Wie intensiv:
Wie lange ausgeübt:
- 13 Krampfadern?
Hinweise auf:
Periphere Durchblutungsstörungen:
Cerebrale Durchblutungsstörungen:
- 14 Diabetiker: ja: nein:
bei ja: seit wann:
wie hoch:
Insulin:
Diät:

Abbildung 4: Veränderung des Kurvenverlaufs durch
Meßpunktverlegung

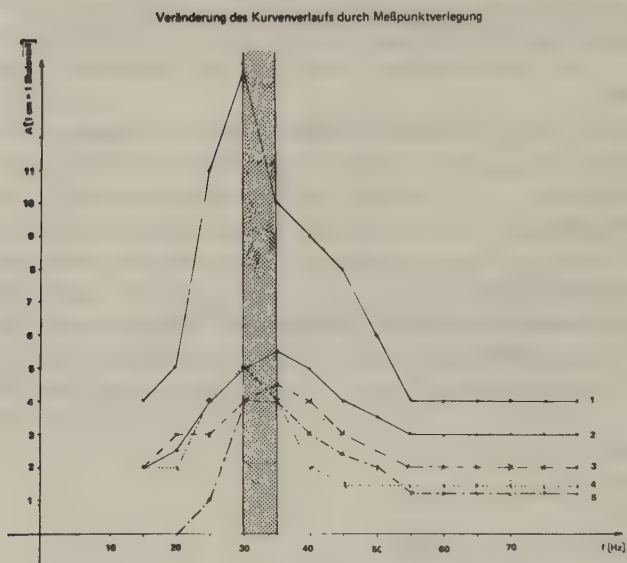
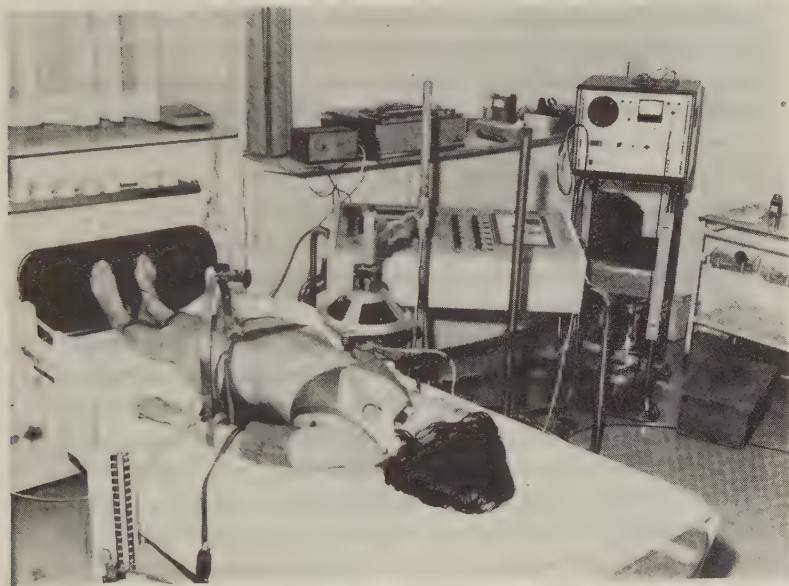


Abbildung 5: Durchführung der Untersuchung an
einem Probanden



2) Untersuchungsmodus und Geräte zur Pulswellengeschwindigkeitsbestimmung

a) Geräte

Zur Aufnahme der beiden Pulskurven benutzten wir die Infratonabnehmer nach BOUCKE UND BRECHT. Die synchrone Aufzeichnung der Kurven erfolgte durch den bereits erwähnten Sechsfachschreiber der Firma SIEMENS, die Belegung der einzelnen Kanäle wurde bereits beschrieben.

b) Durchführungsmodus der Untersuchung

Da die Registrierung von Eigenfrequenz und Pulswellengeschwindigkeit gleichzeitig vorgenommen wurde, muß hier nur noch auf das Anlegen der beiden Infratonabnehmer eingegangen werden: Mit einem Stoffband variablen Durchmessers wurde ein Abnehmer am distalen Ende der arteria carotis, der andere am proximalen Ende der arteria femoralis angebracht. Der jeweils günstige Auflagedruck wurde empirisch ermittelt, d. h. er wurde solange verändert, bis das Schreibgerät eine einwandfreie Pulskurve lieferte. Nach beendeter Untersuchung wurde die Gefäßstrecke ermittelt, indem folgende Einzelstrecken addiert wurden: Auflagepunkt an der arteria carotis zu jugulum, jugulum zu Nabel, Nabel zu Auflagepunkt an der arteria femoralis. Die Pulszeitverspätung wurde dann mittels der Pulskurven errechnet. Die Pulswellengeschwindigkeit ergibt sich dann aus:

$$\frac{\text{Gefäßstrecke}}{\text{Pulszeitverspätung}} = \text{Pulswellengeschwindigkeit}$$

3) Die Untersuchten

Der praktische Teil der Untersuchung fand in der Kurklinik Franken der Bundesversicherungsanstalt für Angestellte in Bad Steben statt, dem Chefarzt des Hauses, Herrn Dr. Buchegger, sei an dieser Stelle für seine Unterstützung und Gastfreundlichkeit gedankt.

Es wurden über 180 Probanden im Alter von 15 bis 70 Jahren untersucht, und zwar konnten die Ergebnisse von 147 Probanden für diese Arbeit ausgewertet werden. 85 der Untersuchten waren Männer, 62 Frauen. Die Gründe des Kuraufenthaltes der Probanden waren: Zustand nach Herzinfarkt und arteriosklerotische Gefäßerkrankungen, Herzerkrankungen aller Genese, orthopädische Leiden, Stoffwechselstörungen und Zustand nach Infektionen. Die männlichen Probanden stammten aus den verschiedensten Berufssparten, bei den Frauen überwogen Hausfrauen und Angestellte mit sitzender Tätigkeit.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Alters- und Geschlechtsverteilung im untersuchten Personenkreis, Tabelle 2 gibt die Zahl der Patienten in den einzelnen Altersgruppen an, die mit den Gefäßerkrankungen Koronarinfarkt, Apoplexie, Lungeninfarkt, arteriosklerotische Durchblutungsstörungen und den Arterioskleroserisikofaktoren Diabetes mellitus und Hypertonie behaftet waren. Gefäßerkrankungen und Risikofaktoren waren klinisch manifest.

Tabelle 1: Alters- und Geschlechtsverteilung der Probanden

Altersgruppe	Männer	Frauen
15-30 Jahre	9	14
31-40 Jahre	12	7
41-50 Jahre	20	11
51-60 Jahre	26	22
61-70 Jahre	18	8
gesamt	85	62

Tabelle 2: Anzahl der an Gefäßerkrankungen und
Arterioskleroserisikofaktoren leiden-
den Probanden in den einzelnen Alters-
gruppen

Altersgruppe	Männer	Frauen
15-30 Jahre	-	-
31-40 Jahre	5	-
41-50 Jahre	19	3
51-60 Jahre	15	10
61-70 Jahre	9	3
gesamt	48	16

III) Ergebnisse und Diskussion

1) Verhalten der Pulswellengeschwindigkeit bei den Untersuchten und Vergleich mit der Normalbevölkerung

Seit man weiß, daß die Gefäße im Laufe des Lebens an Starrheit zunehmen und mit steigender Verhärtung ihre Aufgabe, das Blut im Körper zu verteilen, immer schlechter erfüllen, ist man bemüht, diesem Phänomen diagnostisch und therapeutisch beizukommen. Nach HUECK (8) und anderen ist hauptsächlich eine Vermehrung des Kollagens in den Gefäßwänden dafür verantwortlich, daß die Elastizität mit zunehmendem Lebensalter ansteigt, denn der Elastizitätsmodul des Kollagens ist nach Untersuchungen von BOURTON (1) und TRIEPEL (14) etwa 1000 mal so hoch wie der elastischer Fasern. Dem steht die Ansicht SCHIMMLERS gegenüber, daß Veränderungen der elastischen Elemente die Elastizität und damit die Pulswellengeschwindigkeit beeinflussen (12).

Jedenfalls hat die Messung der Pulswellengeschwindigkeit heute große physiologische und klinische Bedeutung erlangt, denn man kann mit ihrer Hilfe Rückschlüsse auf Sklerosierung und biologisches Alter von Gefäßen ziehen.

So führten umfangreiche Untersuchungen von SCHIMMLER (12), HALLOCK (4), LUDWIG (11), WEZLER (17), WEZLER und STANDL (18), KARNBAUM (10), HERZOG und MEURER (6) alle zu dem Ergebnis, daß sich die Pulswellengeschwindigkeit mit zunehmendem Alter erhöht. Jedoch weisen die von diesen Autoren für gleiche Altersgruppen ermittelten Pulswellengeschwindigkeitswerte große Unterschiede auf. Dies mag zum Teil daran liegen, daß die Blutdruckwerte, die nach WEZLER (17), FRANK (3), BRAMWELL (2), UDE (15) und SCHIMMLER (12) die Pulswellengeschwindigkeit dahingehend beeinflussen, daß mit

steigendem diastolischen Blutdruck auch die Pulswellengeschwindigkeit ansteigt, sehr unterschiedlich waren, zum Teil vielleicht auch daran, daß sich in den untersuchten Gruppen mehr oder weniger Probanden mit pulswellengeschwindigkeits-erhöhenden Faktoren, wie z. B. Diabetes (19), befanden. Da SCHIMMLER die bisher umfangreichsten Untersuchungen über die Zusammenhänge von Pulswellengeschwindigkeit, Alter, Geschlecht und Blutdruck durchgeführt hat (12), sollen die von ihm gewonnenen Durchschnittswerte mit den von uns ermittelten Werten verglichen werden. In Tabelle 3 sind die Ergebnisse unserer Messungen enthalten, Tabelle 4 zeigt, inwieweit die von uns ermittelten Ergebnisse mit den Werten SCHIMMLERS übereinstimmen.

Tabelle 3: Eigene Ergebnisse der Pulswellengeschwindigkeitsmessungen (Mittelwerte)

Altersgruppe	n	Alter	Mittelwerte			PWG-Unterschiede zwischen benachbarten Altersgruppen
			P _s	P _d	PWG	
15 Jahre bis 30 Jahre	23	22,5	113,0	75,3	5,2	1,7
31 Jahre bis 40 Jahre	19	35,7	131,2	82,7	6,9	
41 Jahre bis 50 Jahre	31	47,9	138,7	92,5	9,9	3,0
51 Jahre bis 60 Jahre	48	55,7	154,2	97,6	9,8	
61 Jahre bis 70 Jahre	26	62,5	149,3	85,9	11,0	0,1
						1,2

n = Anzahl der Probanden

P_s = systolischer Blutdruck (mm Hg)

P_d = diastolischer Blutdruck (mm Hg)

PWG = Pulswellengeschwindigkeit (m/sec)

Tabelle 4: Vergleich der eigenen Pulswellengeschwindigkeitsmeßergebnisse mit den von SCHIMMLER ermittelten Werten für Normotoniker (Mittelwerte)

Altersgruppe	PWG (1)	PWG (2)	P _s (1)	P _d (1)	P _s (2)	P _d (2)	Alter (1)	Alter (2)
15-30 Jahre	6,57	5,21	121,2	84,9	113,0	75,3	26,3	22,5
31-40 Jahre	6,95	6,89	127,8	85,9	131,2	82,7	35,4	35,7
41-50 Jahre	7,41	9,95	127,7	86,7	138,7	92,5	45,1	47,9
51-60 Jahre	8,18	9,82	128,5	86,1	154,2	97,6	54,3	55,7
61-70 Jahre	9,10	11,00	130,6	85,9	149,3	85,9	63,5	62,5

(1) = von Schimmler ermittelte Werte

(2) = von Flögel ermittelte Werte

PWG = Pulswellengeschwindigkeit (m/sec)

P_s = systolischer Blutdruck (mm Hg)

P_d = diastolischer Blutdruck (mm Hg)

Wie man sieht, weichen die von uns ermittelten Werte mit Ausnahme der der Altersgruppe von 31 - 40 Jahren stark von den Ergebnissen SCHIMMLERS ab. Das hat mehrere Gründe: In der ersten Altersgruppe der von uns untersuchten Probanden war das Durchschnittsalter um 3,8 Jahre niedriger, der diastolische Blutdruckwert lag im Mittel um 9,6 mm Hg unter dem Wert der SCHIMMLER'schen Versuchspersonen. Der Altersunterschied erklärt sich daraus, daß wir die Altersgruppe der 21-30 jährigen auf 15 - 30 Jahre erweiterten, da sowohl in der Altersgruppe 11-20 Jahre als auch in der Gruppe 21 - 30 Jahre zuwenig Versuchspersonen gemessen werden konnten. Die Differenz des diastolischen Blutdruckwertes liegt erstens in dem geringeren Durchschnittsalter und zweitens in den extrem niederen Werten einiger weiblicher Hypotoniker begründet. Eine Pulswellengeschwindigkeitsdifferenz von minus 1,66 m/sec ist somit nicht verwunderlich.

In der nächsten Altersgruppe stimmen Durchschnittsalter und Blutdruck weitgehend überein und die Pulswellengeschwindigkeitswerte weisen hier auch die geringste Abweichung von einander auf. Ganz anders verhält es sich doch bei der Gruppe der 41-50 jährigen: Während SCHIMMLER hier einen mittleren Pulswellengeschwindigkeitswert von 7,41 m/sec angibt, liegt der Durchschnitt unserer Versuchspersonen bei 9,95 m/sec, also um 2,54 m/sec höher. In dieser Altersgruppe ist die Zahl der normotonischen, gesunden Probanden sehr gering im Verhältnis zu den Versuchspersonen mit pulswellengeschwindigkeitserhöhenden Faktoren. Von den 31 Probanden dieser Altersgruppe waren nur 10 gesund, die meisten der übrigen 21 waren Hypertoniker mit erst vor kurzem kompensiertem Herzinfarkt, einige waren Diabetiker. Der diastolische Blutdruck unserer Gruppe lag um 5,8 mm Hg, der systolische um 11 mm Hg höher als der der normotonen Vergleichsgruppe. Außerdem waren unsere Probanden um durchschnittlich 2,8 Jahre älter.

In der Altersgruppe der 51 - 60 jährigen, die sich in der Zusammensetzung "krank" und "gesund" ähnlich verhielt wie die vorhergehende Gruppe, (von 48 Untersuchten war nur die Hälfte gesund) war die Pulswellengeschwindigkeit gegenüber der Vergleichsgruppe um 1,64 m/sec erhöht, gegenüber der von uns untersuchten Gruppe der 41 - 50 jährigen aber um 0,13 m/sec erniedrigt, obwohl die hier gemessenen Blutdruckwerte die höchsten der gesamten Meßreihe darstellen: Der diastolische Blutdruck liegt 11,5 mm Hg über dem der Vergleichsgruppe und 5,1 mm Hg über dem von uns ermittelten Wert der 41 - 50 jährigen. Wieso sich dies auf die Pulswellengeschwindigkeit im Sinne einer Erhöhung nicht auswirkte, liegt vielleicht an der doch relativ geringen Probandenzahl, die natürlich einige wenige Extremwerte statistisch wirksamer werden läßt als entsprechend größere Zahlen.

In der Gruppe der 61 - 70 jährigen steigt die Pulswellengeschwindigkeit gegenüber der Vergleichsgruppe um 1,9 m/sec auf 11 m/sec, während der diastolische Blutdruck in beiden Gruppen exakt 85,9 mm Hg beträgt. Allerdings litten auch hier wieder 9 von 26 Versuchspersonen an Diabetes mellitus oder an Arteriosklerose, was vielleicht eine Erklärung für die Abweichung des Pulswellengeschwindigkeitswertes darstellt.

Die Ergebnisse wurden hier, wie schon erwähnt, mit den Werten kreislaufgesunder Normotoniker verglichen, um darzulegen, daß sich pulswellengeschwindigkeitserhöhende Faktoren, wie sie ein großer Teil unserer Versuchspersonen aufwiesen, auf unsere Meßergebnisse im Sinne von Pulswellengeschwindigkeitserhöhungen auch auswirkten. Stellt man abschließend unseren Ergebnissen die Werte gegenüber, die SCHIMMLER für Hypertoniker fand, so ergeben sich wesentlich geringere Abweichungen, die sich zum Teil sicher dadurch erklären lassen, daß das von uns untersuchte Probandenkollektiv nicht nur aus Hypertonikern bestand, sondern aus Gesunden und Versuchspersonen mit den

verschiedensten Gefäßerkrankungen, die sich nach SCHIMMLER teilweise recht charakteristisch und unterschiedlich im Verhältnis zur Hypertonie auf die Pulswellengeschwindigkeit auswirken.

2) Verhalten der Eigenfrequenz der arteria radialis bei den Untersuchten und Vergleich mit der Normalbevölkerung

Die uns zur Verfügung stehende Information über die Eigenfrequenzmessung an Arterien beschränkt sich auf die noch nicht veröffentlichten Dissertationsarbeiten von SCHILLING (13), HUBMANN (7) und HULLARD (9). Zu einem Vergleich der von mir verwendeten Werte eignet sich von diesen nur die Arbeit von HULLARD über die Altersabhängigkeit der Eigenfrequenz, jedoch auch nur bedingt, denn ein großer Teil der Ergebnisse wurde von uns beiden gemeinsam gewonnen. (Die insgesamt 147 von mir verwendeten Eigenfrequenzwerte sind fast vollständig in den Werten von HULLARD enthalten). Allerdings konnte HULLARD seine Versuchspersonen in "Kranke" und "Gesunde" trennen, da das Verhältnis "krank" und "gesund" in den einzelnen Altersgruppen wesentlich ausgeglichener und die Gesamtzahl der Probanden doch größer war. Tabelle 5 enthält die von mir verwendeten Ergebnisse, Tabelle 6 vergleicht die von HULLARD errechneten Mittelwerte für Gesunde mit den eigenen Ergebnissen, die für das gemischte Probandenkollektiv gelten.

Tabelle 5: Eigene Ergebnisse der Eigenfrequenzmessung

Altersgruppe	n	Alter	Mittelwerte			EF-Unterschiede zwischen benachbarten Altersgruppen
			P _s	P _d	EF	
15 Jahre bis 30 Jahre	23	22,5	113,0	75,3	24,7	9,8
31 Jahre bis 40 Jahre	19	35,7	131,2	82,7	34,5	
41 Jahre bis 50 Jahre	31	47,9	138,7	92,5	57,6	23,1
51 Jahre bis 60 Jahre	48	55,7	154,2	97,6	64,4	6,8
61 Jahre bis 70 Jahre	26	62,5	149,3	85,9	64,6	0,2

EF = Eigenfrequenz (Hz) P_s = systolischer Blutdruck
n = Anzahl der Probanden P_d = diastolischer Blutdruck

Tabelle 6: Vergleich der eigenen Eigenfrequenzmesser-
ergebnisse mit den von HULLARD ermittelten
Werten für die Normalbevölkerung

Altersgruppe	Alter (1)	Alter (2)	EF (1)	EF (2)
15-30 Jahre	22,0	22,5	24,15	24,7
31-40 Jahre	36,0	35,7	31,85	34,5
41-50 Jahre	47,0	47,9	52,10	57,6
51-60 Jahre	55,5	55,7	60,70	64,4
61-70 Jahre	63,0	62,5	62,47	64,6

(1) = von HULLARD ermittelte Werte

(2) = von FLÖGEL ermittelte Werte

EF = Eigenfrequenz(Hz)

In der ersten und zweiten Altersgruppe weichen die mittleren Eigenfrequenzen erwartungsgemäß nur wenig voneinander ab. Die erste Gruppe enthält sowohl bei HULLARD als auch bei mir nur "Gesunde". Der Unterschied von 2,65 Hz, um die der von mir ermittelte Eigenfrequenzwert in der zweiten Altersgruppe höher liegt, wird durch 5 "Kranke" bei insgesamt 19 Probanden erklärt. In der Altersgruppe der 41-50-Jährigen, die ja die meisten "Kranken" enthält, wird dies durch eine um 5,5 Hz gesteigerte Eigenfrequenz dokumentiert, in der Gruppe der 51-60-Jährigen weist eine Differenz von 3,7 Hz darauf hin, daß Gefäßerkrankungen die Eigenfrequenz erhöhen. Die letzte Gruppe liegt schließlich, entsprechend einem geringeren Gehalt an Gefäßerkrankten als die beiden vorhergehenden Kollektive, mit einer Eigenfrequenz von 64,6 Hz nur 2,13 Hz höher als die Gruppe von HULLARD. Es zeigt sich also, daß die Eigenfrequenz der arteria radialis durch Gefäßerkrankungen tatsächlich erhöht wird. Daß dies nicht augenfälliger durch noch wesentlich größere Frequenzdifferenzen dokumentiert wird, mag daran liegen,

daß einige der hier als "gesund" bezeichneten Probanden noch nicht entdeckte Elastizitätsveränderungen der Gefäßwände aufwiesen, wie sie z. B. eine Glukosetoleranzstörung oder eine erst seit kurzem bestehende Hypertonie bewirken können (19).

3) Beziehungen zwischen Eigenfrequenz der arteria radialis und Pulswellengeschwindigkeit der Aorta bei den Untersuchten

Wie in den vorhergehenden Abschnitten gezeigt wurde, steigt sowohl die Pulswellengeschwindigkeit als auch die Eigenfrequenz mit zunehmendem Lebensalter an, ferner liefern beide Meßmethoden erhöhte Werte, wenn Gefäßerkrankungen vorliegen, die die elastischen Eigenschaften der Gefäße verändern.

Die folgende Tabelle 7 vergleicht die Mittelwerte von Pulswellengeschwindigkeit und Eigenfrequenz in den einzelnen Altersgruppen bei dem bereits bekannten Probandenkollektiv.

In der darauffolgenden Tabelle 8 ist der prozentuale Anstieg der Meßwerte von Altersgruppe zu Altersgruppe zu sehen.

Tabelle 7: Vergleich der Mittelwerte von Pulswellengeschwindigkeit und Eigenfrequenz in den einzelnen Altersgruppen

Altersgruppe	Zahl der Probanden	Alter _m	PWG _m	EF _m
15-30 Jahre	23	22,5	5,2	24,7
31-40 Jahre	19	35,7	6,9	34,5
41-50 Jahre	31	47,9	9,95	57,6
51-60 Jahre	48	55,7	9,8	64,4
61-70 Jahre	26	62,5	11,04	64,6

EF_m = Eigenfrequenz (Mittelwert)

PWG_m = Pulswellengeschwindigkeit (Mittelwert)

Tabelle 8: Prozentualer Anstieg der Pulswellengeschwindigkeit und der Eigenfrequenz von Altersgruppe zu Altersgruppe

Altersgruppe	PWG _m	PWG-Unterschiede in %	EF _m	EF-Unterschiede in %
15-30 Jahre	5,2		24,7	
		32,7 %		39,7 %
31-40 Jahre	6,9		34,5	
		43,5 %		66,9 %
41-50 Jahre	9,9		57,6	
		- 1,0 %		11,8 %
51-60 Jahre	9,8		64,4	
		12,2 %		0,3 %
61-70 Jahre	11,0		64,6	

EF_m = Eigenfrequenz (Mittelwert)

PWG_m = Pulswellengeschwindigkeit (Mittelwert)

Die Prozentzahl, um die die Eigenfrequenz von Altersgruppe zu Altersgruppe steigt, liegt, bis auf die Differenz zwischen der Gruppe der 51 - 60 jährigen zu den 61 - 70 jährigen, durchweg höher als die der Pulswellengeschwindigkeit. Von Bedeutung ist hier, daß die Pulswellengeschwindigkeit in der Aorta und die Eigenfrequenz an der arteria radialis bestimmt wurde. Es ist z. B. erwiesen, daß die Pulswellengeschwindigkeitsunterschiede zwischen Normotonikern und Diabetikern an den Extremitätenarterien noch größer sind als in der Aorta, eventuell trifft dies auch für andere Skleroserisikofaktoren zu. Die stärkere Sklerosierung der Extremitätenarterien würde dann auch die Eigenfrequenzwerte dieser Gefäße erhöhen; dies könnte hier der Fall sein. Besonders auffallend ist der Unterschied zwischen den Gruppen der 31 - 40 jährigen und 41 - 50 jährigen: Während hier die Puls-

wellengeschwindigkeit um 4,7 % ansteigt, erhöht sich die Eigenfrequenz um 22,9 %. Beide Messungen zeigen, daß es sich hier nicht um einen normalen Altersgang handeln kann, sondern daß in den Probandenkollektiv der 41 - 50 jährigen eine größere Anzahl von "Gefäß-geschädigten" vorhanden sein muß, was ja auch tatsächlich der Fall war. Der weit höhere Prozentwert der Eigenfrequenz könnte darauf hindeuten, daß mit der Methode der Eigenfrequenzmessung Gefäßerkrankungen noch deutlicher zu erfassen sind als mit der Pulswellengeschwindigkeitsmessung. Dasselbe gilt für die Differenz zwischen den 41 - 50 jährigen und den 51 - 60 jährigen. In erwartet wäre hier ein geringfügiger Anstieg. Da innerhalb auch noch die Hälfte der Probanden "krank" war und der Altersdurchschnitt um 7,9 Jahre höher lag. Trotzdem ist die Pulswellengeschwindigkeit um 1 % niedriger als die der vorhergehenden Gruppe, während die Eigenfrequenz um 11,8 % steigt. Zwischen den beiden letzten Gruppen ergibt die Pulswellengeschwindigkeit einen Differenzwert von 1,1 % die Eigenfrequenz aber nur 2,1 %. Es ist möglich, daß sich der Sclerotisierungsgrad der verbleibenden Gefäße zwischen diesen beiden Altersgruppen nicht sehr erhöht, weil die Gruppe der 51 - 60 jährigen eine relativ hohe Absterberate aufweist, d. h. Menschen, die schon im Alter zwischen 40 und 50 Jahren über geschädigte Gefäße verfügen und bei der Messung der Eigenfrequenz hohe Werte aufzeigen, haben geringere Chancen, das nächste Lebensjahrrecht zu erreichen als solche mit niedrigeren Werten. Die "elektrode Kondition" scheint gegenüber den Probanden der jüngeren Dekade besser zu sein. Die im Verhältnis zur Eigenfrequenz hohe Differenz der Pulswellengeschwindigkeit könnte darauf hindeuten, daß die Sclerotisierung der Arterien auf Grund ihrer besonderen anatomischen Struktur im Verhältnis zur Sclerotisierung der peripheren Gefäße weitlich nach oben, also in ein höheres Alter, verschoben ist.

Abbildung 6 zeigt eine graphische Gegenüberstellung der Pulswellengeschwindigkeits- und Eigenfrequenzmittelwerte in den einzelnen Altersgruppen.

In Abbildung 7 werden die Eigenfrequenz- und Pulswellengeschwindigkeitsmittelwerte der Altersgruppen in ein Koordinatensystem eingetragen, in welchem die Eigenfrequenz als Funktion der Pulswellengeschwindigkeit dargestellt ist. In dieser Kurve findet das Alter keine Berücksichtigung.

In Abbildung 8 sind sämtliche Wertepaare des gesamten Probandenkollektivs, also von Männern und Frauen, eingetragen. Alter und Gefäßerkrankungen wurden nicht berücksichtigt. Der Verlauf der eingezeichneten Geraden und auch der der folgenden wurde mit Hilfe eines Computers errechnet.

Abbildung 9 zeigt, unter denselben Voraussetzungen wie in Abbildung 8, die Wertepaare der Männer, Abbildung 10 die der Frauen.

In Abbildung 11 ist nochmals das gesamte Kollektiv eingetragen, jedoch sind hier die Männer und Frauen, bei denen eine Gefäßerkrankung nachgewiesen war, besonders gekennzeichnet.

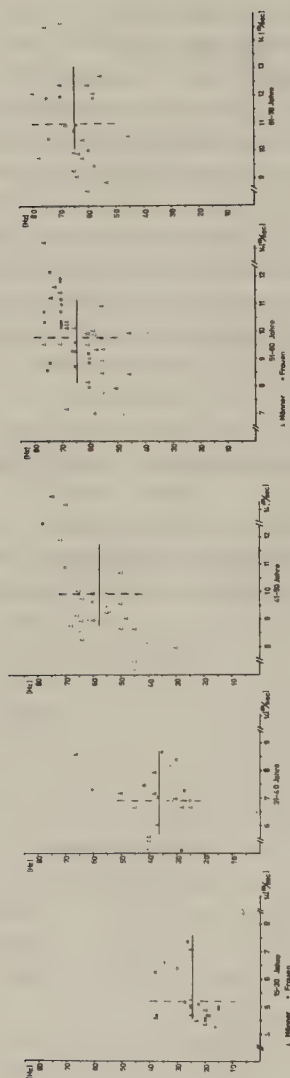


Abbildung 6: Gegenüberstellung der Pulswellengeschwindigkeits- und Eigenfrequenzmittelwerte in den einzelnen Altersgruppen

Abbildung 7: Die Eigenfrequenz als Funktion der
Pulswellengeschwindigkeit (Mittel-
werte der Altersgruppen)

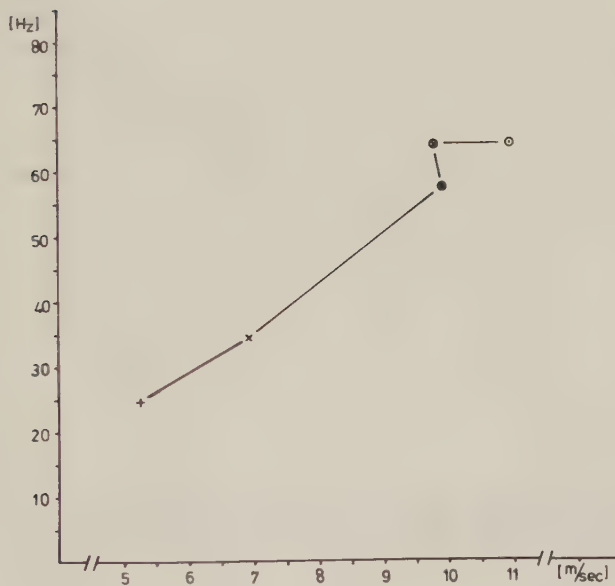


Abbildung 8: Die Eigenfrequenz als Funktion der
Pulswellengeschwindigkeit (Einzelwerte)

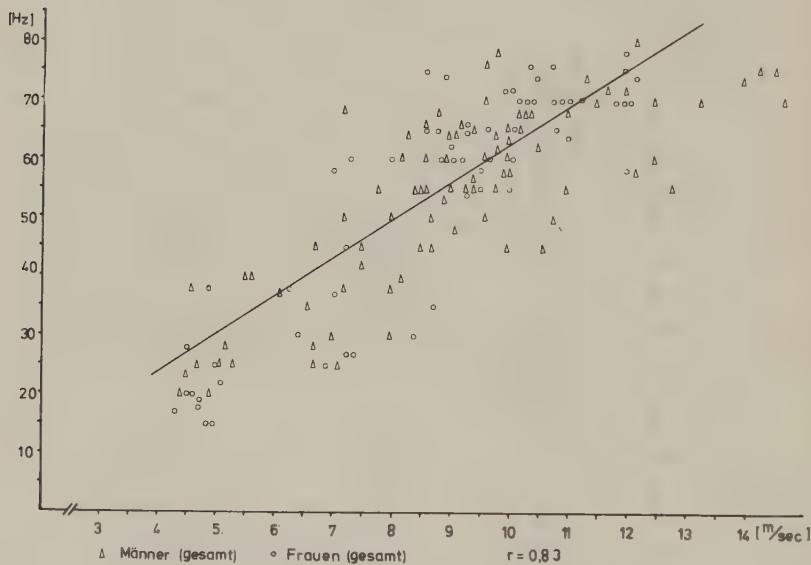


Abbildung 9: Die Eigenfrequenz als Funktion der Puls-
wellengeschwindigkeit (Einzelwerte der
Männer)

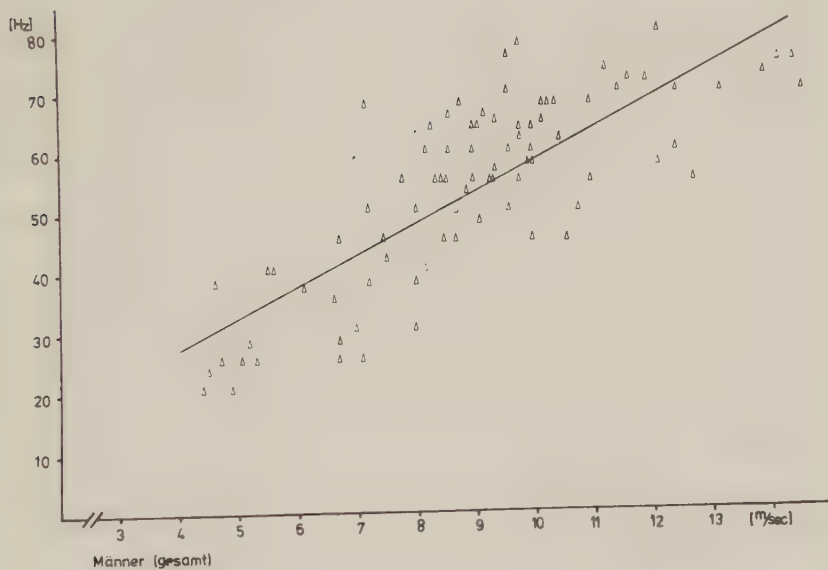


Abbildung 10: Die Eigenfrequenz als Funktion der Puls-
wellengeschwindigkeit (Einzelwerte der
Frauen)

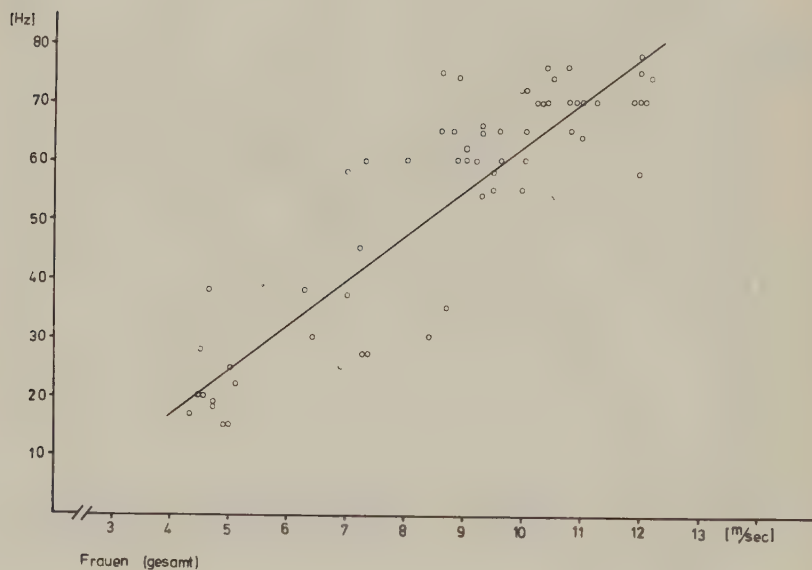
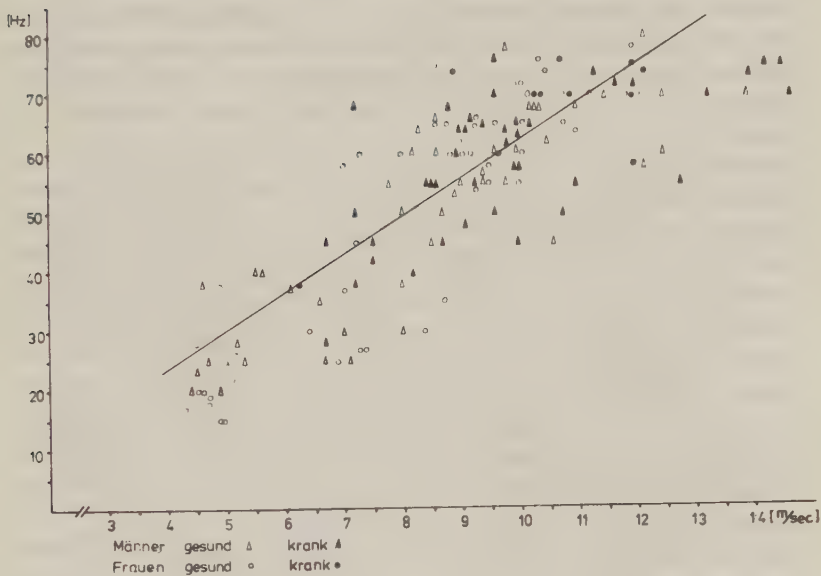


Abbildung 11: Die Eigenfrequenz als Funktion der Puls-
wellengeschwindigkeit (Einzelwerte der
Männer und Frauen, Darstellung der Gefäß-
geschädigten)



Nach Abbildung 6 steigt die Eigenfrequenz von Altersgruppe zu Altersgruppe, der höchste Anstieg findet sich zwischen den 30 - 40 jährigen und den 41 - 50 jährigen Probanden, zwischen den beiden letzten Gruppen ist er am geringsten. Die Pulswellengeschwindigkeit steigt bis zur Gruppe der 41 - 50 jährigen ungefähr analog an, bei den 51 - 60 jährigen liegt sie jedoch geringfügig tiefer als bei der vorhergehenden Gruppe, bei dem Kollektiv der ältesten gemessenen Versuchspersonen erhöht sie sich wieder um 1,2 m/sec. Die eventuell möglichen Gründe für das Abweichen der Meßwerte von bereits gefundenen Normalwerten und für die Sonderstellung der Altersgruppe von 51 - 60 Jahren wurden bereits diskutiert: Zum einen dürfte die Zusammensetzung des untersuchten Personenkreises und zum anderen die für eine zuverlässige statistische Sicherung nicht immer ausreichende Zahl der Probanden dafür verantwortlich sein. Daß jedoch ein sehr enger Zusammenhang zwischen Eigenfrequenz und Pulswellengeschwindigkeit besteht, macht die nächste Abbildung (Abbildung 7) deutlich, in der die Mittelwerte der einzelnen Altersgruppen in ein Koordinatensystem eingetragen sind: Lediglich die Gruppe der 51 - 60 jährigen hebt sich in ihrer Lage im Koordinatensystem von den übrigen Gruppen ab, für deren Mittelwerte sich ein fast konstanter Anstieg der sie verbindenden Geraden ergibt.

Um eine lineare Beziehung zwischen Eigenfrequenz und Pulswellengeschwindigkeit jedoch auch statistisch nachzuweisen, werden in Abbildung 8 sämtliche Einzelwerte der Untersuchten, wieder ohne Berücksichtigung des Alters, in das schon beschriebene Koordinatensystem eingetragen. Es ergibt sich dann ein "Band" von Punkten, das um eine Gerade konzentriert erscheint. Dies wird dann auch rechnerisch bestätigt. Extreme Einzelwerte, die in den relativ kleinen Altersgruppen stark zu Buche schlugen, treten jetzt, bei einer Anzahl von 147 Meßwerten, statistisch

nicht mehr so stark in Erscheinung: Der Korrelationskoeffizient von 0,83 spricht deutlich für eine lineare Abhängigkeit.

Trennt man das Probandenkollektiv in Männer und Frauen auf, wie dies bei den Abbildungen 9 und 10 geschehen ist, so läßt sich die Funktion von Pulswellengeschwindigkeit und Eigenfrequenz in beiden Gruppen ebenfalls als Gerade darstellen. Der Unterschied der Korrelationskoeffizienten beschränkt sich auf die zweite Stelle nach dem Komma, er beträgt für Männer 0,8 und für Frauen 0,88.

Die letzte Abbildung, (Abbildung 11) in der die Gefäß-erkrankten besonders gekennzeichnet sind, bestätigt nochmals die Existenz einer linearen Abhängigkeit zwischen Eigenfrequenz und Pulswellengeschwindigkeit. Man sieht, daß sich die Werte der "Kranken" in keiner Weise aus dem Kollektiv herausheben, sie sind, ebenfalls wie die Werte der nicht an Gefäßschädigungen leidenden Probanden, zu beiden Seiten der Geraden gleichmäßig verteilt. Das bedeutet, daß im Durchschnitt sowohl Eigenfrequenz als auch Pulswellengeschwindigkeit mit einander entsprechenden Werten angestiegen bzw. abgesunken sind und sich die Koordinaten von "Kranken" lediglich entlang der Geraden verschoben haben. Lägen die Meßwerte der Gefäßgeschädigten in einem von den "Gesunden" gesonderten Bereich im Koordinatensystem, so hätte sich die Eigenfrequenz nicht in entsprechendem Maße erhöht wie die Pulswellengeschwindigkeit oder umgekehrt.

Nachdem nun die lineare Funktion von Eigenfrequenz und Pulswellengeschwindigkeit statistisch bewiesen wurde, interessiert noch die Größe des mittleren Quotienten Eigenfrequenz/Pulswellengeschwindigkeit. Sie wurde nach folgender Rechnung bestimmt:

Berechnung des Anstiegswinkels α der Geraden:

$$\cot \alpha = \frac{a}{b} = \frac{5,3 \text{ [cm]}}{3,4 \text{ [cm]}} = 1,5588$$

$$\longrightarrow \alpha = 32^{\circ} 15'$$

Berechnung des durchschnittlichen Eigenfrequenzanstiegs,
wenn die Pulswellengeschwindigkeit um 1 m/sec ansteigt:

$$\sin \alpha = \frac{b}{c} \longrightarrow b = c \quad \sin \alpha \longrightarrow b = 2,3 \quad 0,53 \text{ [cm]} = 1,219 \text{ [cm]}$$

$$1,219 \text{ [cm]} \triangleq 6,095 \text{ [Hz]}$$

Wenn also die Pulswellengeschwindigkeit der Aorta um
1 m/sec ansteigt, so erhöht sich die Eigenfrequenz
der arteria radialis um durchschnittlich 6,1 Hz.

IV) Zusammenfassung

Es wurde bei 147 Probanden im Alter von 15 - 70 Jahren die Pulswellengeschwindigkeit der Aorta und die Eigenfrequenz der arteria radialis gemessen. Folgende Befunde wurden erhoben:

- 1) Die Pulswellengeschwindigkeit der untersuchten Probanden lag in den Altersstufen der 41 - 50 jährigen, der 51 - 60 jährigen und der 61 - 70 jährigen erheblich über den aus der Literatur entnommenen Werten der Normalbevölkerung, in der Gruppe der 31 - 40 jährigen war sie nahezu damit identisch, bei den 15 - 30 jährigen lag sie unter dem Normalbefund.
- 2) Die Eigenfrequenz lag nur geringfügig über den Werten der Vergleichsgruppe. Wie weit diese Vergleichsgruppe der Normalbevölkerung entsprach, steht nicht fest, da die Blutdruckwerte, die erwiesenermaßen großen Einfluß auf die Gefäßelastizität haben, nicht berücksichtigt wurden.
- 3) Der Korrelationskoeffizient beträgt für das untersuchte Gesamtkollektiv 0,83, bei den Männern lag er mit 0,8 etwas niedriger, bei den Frauen mit 0,88 etwas höher. Die insgesamt hohen Korrelationskoeffizienten lassen die lineare Abhängigkeit von Eigenfrequenz und Pulswellengeschwindigkeit als gesichert erscheinen.
- 4) Es wurde errechnet, daß einem Anstieg der Pulswellengeschwindigkeit um 1 m/sec eine durchschnittliche Erhöhung der Eigenfrequenz um 6, 1 Hz entspricht.

V) Literatur

- 1) BOURTON, A. C.
Relation of structure to function of the
tissue of the wall of blood vessels,
Physiol. Rev. 34, 619, (1954)
- 2) BRAMWELL, J. C. A. V. HILL
The velocity of the pulsewave in man,
Proc. roy. Soc. London 93, 298, (1922)
- 3) FRANK, O.
Die Theorie der Pulsquelle,
Z. Biol. 85, 91, (1926)
- 4) HALLOCK, Ph.
Zitiert nach W. SCHIMMLER
Arch. Int. Med. 54, 770, (1934)
- 5) HAMPERL, H.
Lehrbuch der allgem. Pathologie und pa-
thologischen Anatomie,
28. Aufl. Springer, Berlin-Heidelberg-
New York, 322-330, (1968)
- 6) HERZOG, F. und MEURER, H.
Untersuchungen zur klinischen Bewertung
der Pulswellengeschwindigkeit,
Klin. Wschr. 18, 1150, (1939)
- 7) HUBMANN, M. J.
Die Beurteilung der arteriellen Gefäßwand
mit einer modifizierten Methode zur Be-
stimmung der Gefäßeigenfrequenz
Diss. Erlangen 1972

- 8) HUECK, H.
Anatomisches zur Frage nach Wesen und
Ursache der Arteriosklerose,
Münchn. Med. WSchr. 62, 535, (1920)
- 9) HULLARD-PULSTINGER, A.
Das Verhalten der Gefäßeigenfrequenz
zum Lebensalter,
Diss. Erlangen, 1972
- 10) KARNBAUM, S.
Kreislaufanalytische Untersuchungen bei
Normotonikern,
Z. f. Kreislaufforschung 46, 709, (1957)
- 11) LUDWIG, H.
Die Pulswellengeschwindigkeit bei Ge-
sunden und Kranken,
Z. exper. Med. 99, 352, (1936)
- 12) SCHIMMLER, W.
Untersuchungen zu Elastizitätsproblemen
der Aorta,
Archiv für Kreislaufforschung 47, 190,
(1965)
- 13) SCHILLING, D.
Eine neue Methode zur Beurteilung der
Elastizität der arteriellen Gefäßwand.
Diss. Erlangen (1972)
- 14) TRIEPEL, H.
Über die elastischen Eigenschaften des
elastischen Bindegewebes und der glatten
Muskulatur,
Anat. Hefte 10, 1, (1898)

15) UDE, H.

Die Beurteilung der Aorta mit Hilfe der
Pulswellengeschwindigkeit,
Klin. WSchr. 12, 1484, (1939)

16) WEBER, E. H.

Programma editum lipsiae (1827) und
Verh. Ges. Wiss. Leipzig, math.-
phys. Kl. 3, 164 (1850), Zit. nach
v. FREY (1892)

17) WEZLER, K.

Die Abhängigkeit der Arterienelastizität
vom Alter und dem Zustand der Wandmus-
kulatur,
Z. Kreislaufforschung 27, 721, (1935)

18) WEZLER, K. und STANDL, R.

Die normalen Alterskurven der Pulswellen-
geschwindigkeit in elastischen und musku-
lären Arterien des Menschen,
Z. Biol. 97, 265, (1936)

19) SCHIMMLER, W.

Zur Pathophysiologie des alternden Kreis-
laufs, 1970, zur Veröffentlichung vorge-
sehen

Nicht im Text zitierte Literatur:

20) BENCKE, G.

Die Morphologie der alternden Blutgefäße,
Z. f. präklin. Geriatrie, 12, 334 - 339,
(1971)

21) BRECHT, K., - BOUCKE, H.

Neues elektrostatisches Tieftonmikrophon
und seine Anwendung in der Sphymographie,
Pflüger's Archiv, 256, 43, (1952)

22) BROEMSER

Die Bedeutung der Lehre von den erzwunge-
nen Schwingungen in der Physiologie,
München, 1918

23) FRANK, O.

Der Puls in den Arterien,
Z. Biol. 46, 441, (1905)

24) FRANK, O.

Die Elastizität der Blutgefäße,
Z. Biol. 71, 255, (1920)

25) GADERMANN, E., - JUNGEMANN, H.

Klinische Arterienpulsschreibung,
J. A. Barth, München 1960

26) GERTHSEN, Ch., KNESER, H. O.

Physik, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-
New York, 86 - 89, (1971)

27) GRUNMACH, E.

Über die Pulswellengeschwindigkeit bei
Erkrankungen des Zirkulationsapparates
sowie der Einwirkung toxischer Mittel,
Virch. Arch. 102, 565, (1885)

- 28) KARNBAUM, S.
Elastizität und Morphologie des
Aortenwindkessels beim Bluthochdruck,
Arch. Kreislaufforschung 34, 18, (1961)
- 29) LANG, E. und Mitarbeiter
Untersuchungen mit einer neuen Methode
zur Beurteilung der arteriellen Gefäß-
wand,
actuelle geront. II, 1, 17 (1972)
- 30) ROY, C. S.
The elastic properties of the Arterial
Wall,
J. Physiol. 3, 125, (1880)
- 31) SCHIMMLER, W.
Zur Pathophysiologie der Pulswellenge-
schwindigkeit,
Münchn. Med. WSchr. 4, 181 - 186, (1967)
- 32) STRONG, I. P. - EGGEN, D. A.
Riskfactors and atherosclerotic lessions,
JONES, R. J. Atherosclerosis, Springer
Verlag, Berlin-Heidelberg-New York (1970)
- 33) WETTERER, E.
Bau und Funktionen des Gefäßsystems,
KEIDEL, W. D., Kurzgefaßtes Lehrbuch
der Physiologie, Georg-Thieme Verlag
(1967)
- 34) WETTERER, E.
Neuere Vorstellungen über die Entstehung
der arteriellen Pulsform,
Therapiewoche 5, 293, (1972)

35) WETTERER, E. und KENNER, Th.

Grundlagen der Dynamik des Arterien-
pulses,
Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-
New York, (1968)

36) WEZLER, K. und BÖGER, A.

Die Elastizität des arteriellen Wind-
kessels während der verschiedenen Lebens-
perioden des Menschen,
Z. f. Kreislaufforschung 28, 553, (1936)

LEBENS LAUF

- 5.2.1947 Geboren als Sohn des 1946 verstorbenen
praktischen Arztes Dr. med. Walter Flögel
und seiner Ehefrau Wilma, geb. Flögel,
in Laufen/Salzach,
- 1953-1958 Volksschule in Aichach,
- 1958-1967 Gymnasium Sankt Stephan in Augsburg,
- 1967 Abitur, dann Studium der Medizin in
Erlangen,
- 1968 Naturwissenschaftliche Vorprüfung,
- 1970 Ärztliche Vorprüfung.
- 10.8.1973 Ärztliche Prüfung

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hogl, 8520 Erlangen Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990